

МОДЕЛЬ НЕЧЕТКОГО РЕГУЛЯТОРА АВТОИНФОРМАТОРА

Дружинина Н.Г.¹, Трофимова О.Г.¹, Трофимов С.П.²

¹ Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина
ул. Мира, 19, Екатеринбург, Свердловская обл., 620002, Россия
тел.: (343) 375-44-68, e-mail: o.g.trofimova@mail.ru

² Уральский институт экономики, управления и права,
ул. Луначарского, 194, Екатеринбург, Свердловская обл., 620026, Россия
e-mail: tsp61@mail.ru

Аннотация — Представлена модель системы управления автоинформатора общественного транспорта с нечетким регулятором. Цель разработки: обеспечение гибкой настройки системы управления временем начала озвучивания остановки и повышение качества обслуживания пассажиров общественного транспорта. Предложена модель нечеткого регулятора для формирования управляющего сигнала начала объявления остановки. Представлены лингвистические переменные, термы и примеры правил нечеткого логического вывода для работы нечеткого регулятора. В целях сравнения и тестирования предложена модель простого четкого регулятора с использованием программного управления. Проведены численные эксперименты, которые показывают преимущества нечеткого регулятора перед четким регулятором.

MODEL OF FUZZY CONTROLLER OF AUTOINFORMER

Druzhinina N.G.¹, Trofimova O.G.¹, Trofimov S.P.²

¹ Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin
Mira St, 19, Yekaterinburg, Sverdlovsk region, 620002, Russian Federation
ph.: (343) 375-44-68, e-mail: o.g.trofimova@mail.ru

² Ural Institute of Economics, Management and Law,
Lunacharskogo St, 194, Yekaterinburg, Sverdlovsk region, 620026, Russian Federation
e-mail: tsp61@mail.ru

Abstract — The article presents a model of a fuzzy control system of autoinformer of public transport. The purpose of the development is providing flexible adjustment of the start time of pronunciation of tram's stop name and improving the quality of service for public transport passengers. A model of fuzzy controller for generating a control signal for starting of pronunciation is developed. Presented the linguistic variables, terms and examples of fuzzy logical rules. For comparison purposes, a model of a simple classic program controller is presented. Numerical experiments show the advantages of fuzzy controller.

I. Актуальность работы

Существует множество устройств и систем информирования пассажиров общественного транспорта [1–10]. В настоящее время подвижные единицы (ПЕ) общественного транспорта МУП ТТУ г. Екатеринбурга оснащены специальным оборудованием – планшетным компьютером с навигационным модулем, так называемым многофункциональным навигационным устройством (МФНУ), которое в реальном времени позволяет контролировать параметры движения ПЕ и осуществлять оперативную связь с диспетчером движения городского электротранспорта [11]. МФНУ выполняет функции автоинформатора, спидометра, тахографа. В качестве автоинформатора МФНУ автоматически объявляет название остановки, к которой подъезжает ПЕ. В настоящее время решение о начале объявления остановки принимается на основе спутниковых данных ГЛОНАСС/GPS и специализированного программного обеспечения, в котором содержится маршрут движения ПЕ, вычисляется расстояние до остановки и т.д. Цель разработки: оптимизация работы автоинформатора, обеспечение гибкой настройки системы управления (СУ) временем начала озвучивания остановки и, таким образом, повышение качества обслуживания пассажиров общественного транспорта. Нечеткий логический вывод, основанный на нечетких экспертных правилах и нечетких множествах, эффективно применяется для построения нечетких регуляторов в технических системах [12–17]. В нашем случае управляющий сигнал начала озвучивания остановки формируется нечетким лингвистическим регулятором (НЛР).

II. Основные проблемы и решения

Объект – ПЕ, на котором установлен МФНУ (рис. 1). Выходные параметры МФНУ-спидометра: расстояние ПЕ до остановки s , скорость движения ПЕ v , ускорение движения ПЕ a . Выходные параметры МФНУ-автоинформатора: длительность объявления остановки $T_{об}$. Входные параметры НЛР: ошибка момента объявления остановки e (разница между текущим временем τ и временем начала объявления остановки T_n), расстояние до остановки s , скорость движения ПЕ v , ускорение движения ПЕ a . Выходные параметры НЛР: управляющий сигнал u , подаваемый на автоинформатор в расчетное время начала объявления остановки, время прибытия ПЕ на остановку $T_{пр}$. Конечное время объявления остановки T_k определяется в виде разности между временем прибытия ПЕ на остановку $T_{пр}$ и временем для подготовки пассажира к выходу (примем 5 сек). Время начала объявления остановки T_n определяется в виде разности между временем окончания объявления остановки T_k и длительностью объявления остановки $T_{об}$.

Модель нечеткого управления временем начала автоматического объявления остановки общественного транспорта основано на четких входных данных: расстояние ПЕ до остановки, текущая скорость, ускорение ПЕ и ошибка момента объявления остановки. Расстояние до остановки определяется на основе длины пройденного пути ПЕ и расстояниях между остановками, заложенными в базу данных. Ошибка e момента объявления

остановки определяется как разница между текущим временем и временем начала объявления остановки. С использованием термов лингвистических переменных формируются нечеткие оценки расстояния, скорости и ускорения ПЕ и осуществляется расчет момента озвучивания остановки. При этом учитывается длительность

озвучивания названия остановки $T_{об}$, выраженного в термах лингвистических переменных. Данные оценки используются для получения истинности посылок лингвистических правил управления моментом начала озвучивания названия остановки. Расчет времени прибытия ПЕ на остановку и времени подачи сигнала на озвучивание остановки производятся с помощью правил нечеткого вывода. При этом для каждого правила степень истинности заключения вычисляется в зависимости от степени истинности его посылки.

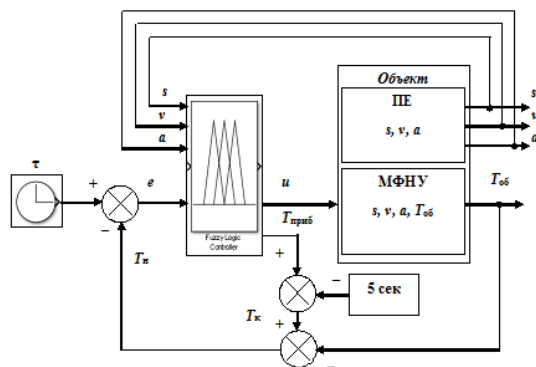


Рис. 1. Схема системы управления с нечетким регулятором

Будем считать, что термами лингвистических переменных являются нечеткие множества с функцией принадлежности в виде равнобедренного треугольника. Перечислим лингвистические переменные и их термы. Расстояние и временные интервалы измеряются от текущего положения ПЕ.

«Расстояние до остановки» = {«малое» (5–10 м), «среднее» (8–20 м), «большое» (18–25 м)}.

«Скорость движения ПЕ» = {«малая» (0–3 м/с), «средняя» (1–6 м/с), «большая» (5–8 м/с)}.

«Ускорение движение ПЕ» = {«торможение» (от –2 до –0,5 м/с²), «нулевое» (от –1 до +1 м/с²), «ускорение» (от +0,5 до +2 м/с²)}.

«Интервал от окончания объявления остановки до прибытия на остановку» = {«рано» (6–15 с), «норма» (2–8 с), «поздно» (0–4 с)}.

«Интервал до прибытия на остановку» = {«долго» (30–50 с), «скоро» (15–35 с), «почти прибыли» (5–20 с), «прибыли» (0–10 с)}.

«Ошибка момента объявления остановки» (разница между текущим временем и временем начала объявления остановки) = {«отрицательная» (от –3 до –1 с), «нулевая» (от –2 до +2 с), «положительная» (от +1 до +3 с)}.

«Управляющий сигнал начала объявления остановки» = {«не объявлять» (0%÷30%), «скоро объявлять» (20%÷90%), «объявлять» (80%÷100%)}.

«Длительность объявления остановки» = {«короткая» (1–5 сек), «средняя» (3–10 сек), «длинная» (8–15 сек)}.

Примеры функций принадлежности для трех лингвистических переменных (л.п.) представлены на рис. 2, 3, 4.

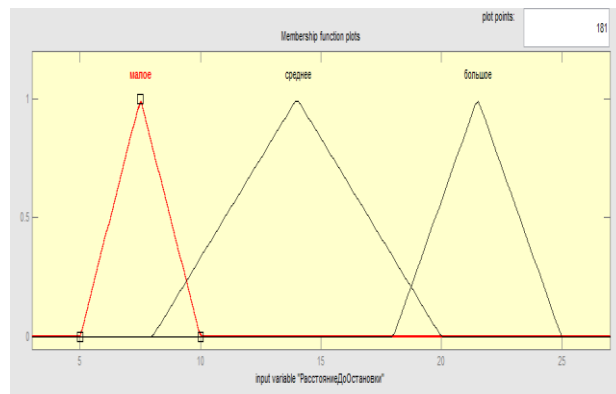


Рис. 2. Функции принадлежности термов л.п. «Расстояние до остановки»

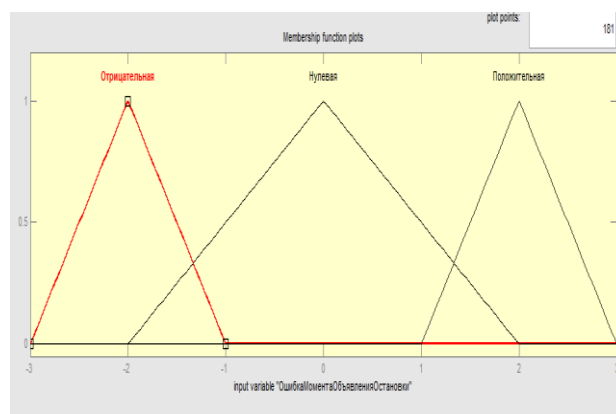


Рис. 3. Функции принадлежности термов л.п. «Ошибка момента объявления остановки»

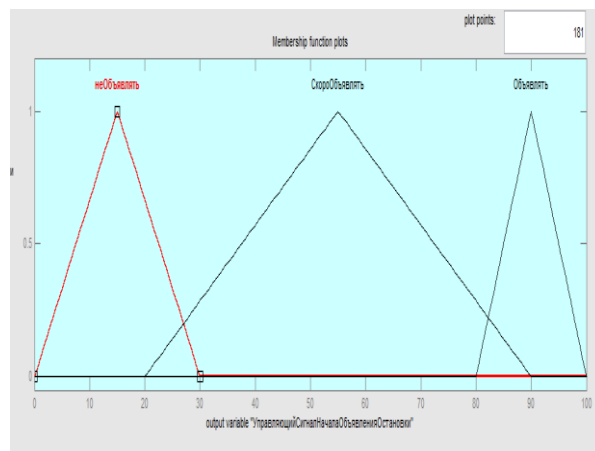


Рис. 4. Функции принадлежности термов л.п. «Управляющий сигнал начала объявления остановки»

Приведем примеры правил нечеткого логического вывода. Общее количество правил значительно больше.

Расстояние до остановки, скорость ПЕ и ускорение ПЕ влияет на время прибытия ПЕ на остановку по следующим правилам:

R1. Если «расстояние до остановки» «большое» и «скорость движения ПЕ» «средняя» и «ускорение движения ПЕ» «ускоряется», то «интервал до прибытия на остановку» «скоро».

R2. Если «расстояние до остановки» «среднее» и «скорость движения ПЕ» «средняя» и «ускорение движения ПЕ» «нулевое», то «интервал до прибытия на остановку» «почти прибыли».

R3. Если «расстояние до остановки» «малое» и «скорость движения ПЕ» «малая» и «ускорение движения ПЕ» «торможение», то «интервал до прибытия на остановку» «прибыли».

Ошибка момента объявления остановки позволяет НЛР сформировать управляющий сигнал начала объявления по следующим экспертным правилам:

M1. Если «ошибка момента объявления остановки» «нулевая», то «управляющий сигнал начала объявления остановки» «объявлять».

M2. Если «ошибка момента объявления остановки» «отрицательна», то «управляющий сигнал начала объявления остановки» «скоро объявлять».

Определение ошибки момента объявления остановки производится по следующим экспертным правилам:

E1. Если «интервал до прибытия на остановку» «почти прибыли» и «длительность объявления остановки» «средняя», то «ошибка момента объявления остановки» «нулевая».

После определения лингвистических переменных и экспертных правил алгоритм нечеткого логического вывода выполняет следующие шаги [18, 19]: фаззификация, агрегирование, активация, аккумуляция и дефаззификация. На последнем этапе дефаззификации нечеткий управляющий сигнал, представленный в виде нечеткого логического множества с кусочнолинейной функцией принадлежности, заменяется на четкий управляющий сигнал – «начинать/не начинать озвучивание названия остановки».

III. Численный пример работы нечеткого регулятора объявления остановки

Приведем пример работы нечеткого регулятора для следующих четких входных сигналов:

- расстояние до остановки $s_0 = 18$ м,
- скорость ПЕ $v_0 = 2$ м/с,
- ускорение ПЕ $a_0 = -0,1$ м/с².
- текущее время $t_0 = 08$ ч. 00 мин. 30 с.
- длительность объявления названия ближайшей остановки $T_{об} = 6$ с.

Для четких входных сигналов рассчитаем функции принадлежности термов лингвистических переменных:

1. «Расстояние до остановки»: $\mu_{\text{малое}}(18) = 0$, $\mu_{\text{среднее}}(18) = 0,33$, $\mu_{\text{большое}}(18) = 0$.

2. «Скорость движения ПЕ»: $\mu_{\text{малая}}(2) = 0,66$, $\mu_{\text{средняя}}(2) = 0,4$, $\mu_{\text{большая}}(2) = 0$.

3. «Ускорение движение ПЕ»: $\mu_{\text{торможение}}(-0,1) = 0$, $\mu_{\text{нулевое}}(-0,1) = 0,9$, $\mu_{\text{ускорение}}(-0,1) = 0$.

4. «Длительность объявления остановки»: $\mu_{\text{короткая}}(6) = 0$, $\mu_{\text{средняя}}(6) = 0,86$, $\mu_{\text{длинная}}(6) = 0$.

Проведем агрегирование посылок правил R1-R3. Для правил R1 и R3 значение посылок равно 0. Для правила R2 значение посылки равно 0,33. Поэтому активируем только правило R2 и получаем, что «время прибытия» равно терму «почти прибыли», усеченному по высоте 0,33.

Активируем правило E1. Истинность посылки правила E1 равна $\min(0,33; 0,86) = 0,33$. Поэтому истинность заключения E1 принимаем тоже 0,33, то есть истинность утверждения «Ошибка момента объявления остановки» = «нулевая» равна 0,33.

Активируем правило M1. Истинность посылки правила M1 равна 0,33. Поэтому истинность заключения M1 принимаем тоже 0,33, то есть истинность утверждения «Управляющий сигнал начала объявления остановки» = «объявлять» равна 0,33.

Аккумулируем нечеткий выходной сигнал – «Управляющий сигнал начала объявления остановки». Получаем, что функция принадлежности этого сигнала совпадает с термом «объявлять», усеченным по высоте 0,33.

Проведем дефаззификацию нечеткого выходного сигнала по принципу «середины площади». Получаем четкий выходной «управляющий сигнал начала объявления остановки», равный 90 %.

Если установить пороговое значение для фактического начала объявления остановки, равное 95 %, то для нашего примера в текущий момент t_0 нужно готовиться начинать объявление остановки.

IV. Реализация нечеткого логического вывода регулятора в Fuzzy Logic

Рассмотрим реализацию нечеткого логического вывода регулятора в Fuzzy Logic [17, 18]. Среда обладает рядом недостатков, например, для НЛР не реализуется правило E1, т.к. в посылке правила присутствует выходная л.п. «ошибка момента объявления остановки». На рис. 5 представлены результаты реализации при тех же заданных четких входных сигналах. Получаем четкий выходной «управляющий сигнал начала объявления остановки», равный 90%, соответствующий терму «объявлять» и «интервал до прибытия на остановку», равный 13,7 с, соответствующий терму «почти прибыли».

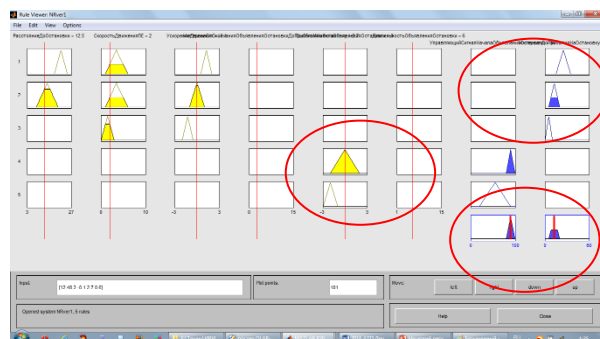


Рис. 5. Результаты реализации нечеткого логического вывода в Fuzzy Logic

V. Численный пример работы четкого регулятора объявления остановки

Сравним два подхода к управлению моментом начала объявления остановки: нечеткий и четкий. Для этого построим модель четкого регулятора, построенного на основе дифференциального уравнения движения ПЕ с использованием текущих входных параметров: расстояние до остановки, скорость и ускорение ПЕ. Будем предполагать, что регулятор использует программное управление без обратных связей.

Обозначим путь, пройденный ПЕ от некоторой начальной точки, $s(t)$ и будем искать его в виде $s(t) = b_2 t^2 + b_1 t + b_0$. Тогда скорость $v(t) = 2b_2 t + b_1$,

ускорение $a(t) = 2b_2$. Начальные условия $s(t_0) = 0$, $v(t_0) = v_0$, $a(t_0) = a_0$.

Дифференцируя дважды функцию $s(t)$, получаем

$$a_0 = a(t_0) = 2b_2, \text{ откуда } b_2 = \frac{a_0}{2}.$$

$$\text{Далее } v_0 = 2\frac{a_0}{2}t_0 + b_1, \text{ откуда } b_1 = v_0 - a_0t_0.$$

И наконец,

$$b_0 = -b_2t_0^2 - b_1t_0 = -\frac{a_0}{2}t_0^2 - (v_0 - a_0t_0)t_0 = \frac{a_0}{2}t_0^2 - v_0t_0.$$

Таким образом, находим уравнение движения ПЕ в текущем времени t

$$s(t) = \frac{a_0}{2}t^2 + (v_0 - a_0t_0)t + \left(\frac{a_0}{2}t_0^2 - v_0t_0\right).$$

Найдем момент времени t_1 прибытия ПЕ на остановку. Решим квадратное уравнение $s(t) = s_0$, где

s_0 – расстояние до остановки в начальный момент t_0

. Вычислим дискриминант

$$D = (v_0 - a_0t_0)^2 - 4\frac{a_0}{2}(-s_0 + \frac{a_0}{2}t_0^2 - v_0t_0).$$

$$\text{Тогда } t_{1,2} = \frac{-v_0 + a_0t_0 \pm \sqrt{D}}{a_0}.$$

Подставляя начальные условия $s_0 = 18$ м, $v_0 = 2$ м/с, $a_0 = -0,1$ м/с², $t_0 = 30$ с, находим $t_1 = 43,7$ с, $t_2 = 56,3$ с. Выбираем ближайшее время прибытия на остановку $t_1 = 43,7$ с. Таким образом, временной интервал до прибытия на остановку $\Delta t = t_1 - t_0$, $\Delta t = 43,7 - 30 = 13,7$ с. Учтем, что длительность объявления названия остановки $T_{об} = 6$ с, а время от конца объявления остановки до прибытия на остановку планируется 5 с. Тогда временной интервал от текущего момента t_0 до начала объявления остановки равен $13,7 - 6 - 5 = 2,7$ с. Отсюда вытекает, что скоро (через 2,7 с) надо объявлять остановку.

Данный результат вполне согласуется с выводом нечеткого регулятора.

VI. Заключение

В работе показано, каким образом нечеткий логический вывод может использоваться для управления технической системой автоинформатора.

Нечеткие регуляторы имеют ряд преимуществ перед четкими регуляторами. В их числе: учет опыта операторов и водителей, обобщенный в правилах нечеткого вывода; возможность настройки нечеткого регулятора в ходе эксплуатации путем увеличения и модификации правил вывода. Среди недостатков четкого регулятора отметим повышенную чувствительность к возмущениям входных параметров (расстояние, скорость, ускорение). Предложенная модель четкого регулятора построена на программном управлении и не использует обратных связей, которые сложно описать математически.

В то же время, мы считаем важным разработку четкого аналога, который можно использовать для тестирования нечетких регуляторов в идеальных условиях отсутствия помех.

VII. Литература

- [1] Дерка Л.С., Меремкулов А.К., Харитонов С.А. Мобильный навигационный терминал // Патент России на полезную модель № 75491. 2008.
- [2] Интерактивная геоинформационная система «Пилигрим» / Меремкулов А.К. и др. // Свидетельство о гос. регистрации программ для ЭВМ №2007614930. 2007.
- [3] Интерактивная геоинформационная система «Сириус Навигатор» / Животченко В.С. и др. // Свидетельство о гос. регистрации программ для ЭВМ №2010614154. 2010.
- [4] Автоинформатор «Сириус» / Животченко В.С. и др. // Свидетельство о гос. регистрации программы для ЭВМ №2012613393. 2012.
- [5] Программный комплекс «Автоинформатор» для WinCE (устанавливается на GPS навигатор). – URL: https://www.fl.ru/users/m_d_m/viewproj.php?prjid=3359894 (дата обращения 10.05.2016).
- [6] Токмаков А. А. Способ информационного обеспечения пассажиров общественного транспорта и устройства для информационного обеспечения пассажиров общественного транспорта // Патент России №2411591. 2011. Бюл. №4.
- [7] Макаров В.М. Способ информационного обеспечения пассажиров общественного транспорта // Патент России №2275691. 2006. Бюл. №12.
- [8] Информационно-навигационная система для метрополитенов «АРКУДА НАВИ» («АРКУДА НАВИ») / Правообладатель: ЗАО «АМТ-ГРУП» // Свидетельство о гос. регистрации программы для ЭВМ №2015660839. 2015.
- [9] Автоматизированная система информирования пассажиров наземного транспорта. Клиент («Навитранс.Информирование.Клиент») / Правообладатель: ООО «ТранснавСофт» // Свидетельство о гос. регистрации программы для ЭВМ №2016611713. 2016.
- [10] Информационная система по планированию и мониторингу работы автомобильного транспорта и городского наземного электрического транспорта, осуществляющего регулярную перевозку пассажиров и багажа / Ромащенко С.Ю. и др. // Свидетельство о гос. регистрации программы для ЭВМ №2016612377. 2016.
- [11] Дружинина Н.Г. Многофункциональное навигационное устройство водителя общественного транспорта / Н.Г. Дружинина, О.Г. Трофимова // Информационные технологии, телекоммуникации и системы управления: сборник докл. Международной конф. студентов, аспирантов и молодых ученых. – Екатеринбург: УрФУ, 2015. – С. 144-120.
- [12] Novák, V., Lehmke, S. Logical structure of fuzzy IF–THEN rules // Fuzzy Sets and Systems. – 2006. – vol. 157(15). – P. 2003-2029.
- [13] Кудрявцев В.С., Страшинин Е.Э., Лисиенко В.Г. Способ нечеткого управления движением подвижного состава рельсового транспортного средства с возможностью плавного управления тягой // Патент России. №2296357. 2007. Бюл. №9.
- [14] Муравьева Е.А., Каяшева Г.А. Нечеткий регулятор с лингвистической обратной связью для управления технологическими процессами // Патент России. №2309443. 2007. Бюл. №30.
- [15] Каяшев А.И. Структурная схема нечеткого регулятора на основе лингвистических переменных с четкими терминами / А.И. Каяшев, Е.А. Муравьева, Г.А. Каяшева // Программные продукты и системы. – 2008. №4. – С. 34.
- [16] Еремин Е. Л., Климец Ю.Л., Теличенко Д.А. Программа расчета и моделирования нечетких систем для объектов с запаздыванием по управлению // Свидетельство о гос. регистрации программы для ЭВМ №2014614606. 2016.

- [17] Штовба С.Д. Введение в теорию нечетких множеств и нечеткую логику. MATLAB.EXPONENTA/Проектирование систем управления/Fuzzy Logic Toolbox. – URL: <http://matlab.exponenta.ru/fuzzylogic/book1/> (дата обращения 10.05.2016).
- [18] Леоненков А.В. Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTECH / А.В. Леоненков. – СПб.: БХВ-Петербург, 2003. – 736 с.
- [19] Болотова Л.С. Системы искусственного интеллекта: модели и технологии, основанные на знаниях: учебник / Л.С. Болотова. – М.: Финансы и статистика, 2012. – 664 с.